

$$N_M^* \cong zN_{Mo} [1 - e^{-k_2 t}]. \quad (27)$$

Оптическая плотность среды определяется содержанием в системе мицелл и продуктов распада хлопьев:

$$D \approx B_1 N_M + B_2 N_M^*, \quad (28)$$

$$D \approx B_1 \frac{N_{Mo}}{1 + k_1 N_{Mo} t} + B_2 z N_{Mo} [1 - e^{-k_2 t}], \quad (29)$$

где коэффициенты B_1 и B_2 зависят от свойств вещества и данных прибора.

Таким образом, можно констатировать, что величина оптической плотности определяется двумя слагаемыми, каждое из которых содержит одну кинетическую константу. Поэтому имеем возможность определить каждую из них, обрабатывая экспериментальные данные соответствующим образом. На начальном участке в координатах после достижения минимального значения оптической плотности в координатах $1/D \approx t$, после достижения минимального значения оптической плотности в координатах $\ln(B_2 z N_{Mo} - D) \approx t$.

Заключение 1. Проведенные исследования кинетики сорбции в условиях агрегирования частиц показали, что эффективность освет-

ления сточных вод в широком диапазоне величин pH, оборотов мешалки и состава стоков происходит в интервалах времени многократно меньших, чем рекомендовано справочной литературой.

2. Результаты исследований позволяют в разы сократить время обработки стоков в стандартных химических аппаратах с механическими мешалками и соответственно снизить металло- и энергоёмкость оборудования при одновременном повышении эффективности очистки.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Темкин, М.И. Перенос растворенного вещества между турбулентно движущейся жидкостью и взвешенными в ней частицами // Кинетика и катализ. – 1977. – Т. 18. – № 2. – С. 493–496.
2. Эйштейн, А. Собрание научных трудов / Под ред. И.Е. Тамма, Я.Л. Смородинского, Б.Г. Кузнецова – М.: Наука, 1966. – 632 с.
3. Кокотов, Ю.А. Равновесие и кинетика ионного обмена / Ю.А. Кокотов, В.А. Пасечник – Л.: Химия, 1970. – 336 с.
4. Запольский, А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: свойства, получение, применение / А.К. Запольский, А.А. Баран – Л.: Химия, 1987 – 208 с.
5. Ляликов, Ю.С. Физико-химические методы анализа. – изд. 5-е перераб. и доп. – М.: Химия, 1973. – 536 с.

Материал поступил в редакцию 05.03.13

URECKIY E.A., MOROZ V.V. Study the kinetics of the adsorption and flocculation stage flocculation

The kinetics of the process of clarification on real wastewater at different speeds mixers and different pH environments.

УДК 628.2

Нездойминов В.И., Григоренко Н.И.

ПРИМЕНЕНИЕ НА ПРАКТИКЕ МОДЕЛИ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ВАКУУМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

Введение. Во многих странах мира доля населения, проживающего в не оснащенных системами канализации поселениях, составляет от 5 до 20 % [8]. В последние годы наблюдается повышенное внимание к вопросам строительства и эксплуатации канализации в малых населенных пунктах. Многие международные конференции в Европе были посвящены данной теме – поиску оптимальных решений по сбору и очистке сточных вод малых населенных пунктов [8, 9, 10]. Большой интерес к этой теме обусловлен тем, что, несмотря на небольшую долю населения, проживающего в сельских поселениях, не подключенных к централизованной канализации, масштабы загрязнения окружающей природной среды неочищенными сточными водами по-прежнему очень велики. При проектировании, строительстве и эксплуатации систем канализации в малых населенных пунктах на практике возникает ряд экономических, технических, гигиенических и экологических проблем.

Анализ состояния вопроса. Согласно последней переписи населения приблизительно в 30 тыс. сельских поселениях проживает около 31% населения Украины. Кроме сел, к которым можно отнести малые населенные пункты, а также поселки городского типа – это населенные пункты с количеством жителей до 10 тыс. чел., в которых больше 85 % населения занято в несельскохозяйственных отраслях народного хозяйства. Таких поселков в Украине 911.

На сегодняшний день отсутствие коммунальных сетей и сооружений для сбора и очистки сточных вод характерно для малых населенных пунктов, а также для части территорий малозатяжного жилищного строительства больших городов. По статистике, централизованными системами водоотведения обеспечено всего лишь 5,7% общей их численности. Есть несколько путей решения этой проблемы – это создание групповых систем водоотведения, обслуживающих группы населенных мест, с крупными сооружениями для очист-

ки и обеззараживания сточной воды или устройство локальных систем водоотведения малой производительности, обслуживающих отдельные населенные пункты, группы зданий, отдельные коммунальные сооружения, с малыми установками для очистки и обеззараживания воды. Вакуумная канализация относится к локальной системе сбора и очистки сточных вод, ее применение наиболее рационально и экономически оправдано для населенных пунктов с малой плотностью заселения, а также для объектов временного пользования (лагеря, пансионаты, кемпинги), санитарных зон водисточников. Причем при проектировании и строительстве данной системы не возникает проблем с высоким уровнем грунтовых вод и сложных грунтовых условий. Более подробно использование вакуумной системы канализации рассмотрено авторами в [4].

Данная система уже получила широкое распространение в мире, благодаря ряду преимуществ перед самотечной канализацией. Но на сегодняшний день сдерживающим фактором ее повсеместного распространения является отсутствие алгоритма расчета, который имеет под собой теоретическую базу, а не интуитивные методы. Сложности создания расчетных формул обусловлены в особенности проектирования сточных вод под действием вакуума, а именно – транспортировку двухфазной среды «жидкость-газ». В Украине систему вакуумной канализации представляют несколько зарубежных компаний, наиболее известной является немецкая фирма Roediger Vacuum.

Целью работы является разработка и применение расчетной модели для реального объекта, а именно ветки вакуумной канализации длиной 2 км с целью подтверждения правильности разработанной модели и возможности применения ее на практике.

Задачами работы в данной ситуации являются: анализ существующих расчетных моделей для двухфазных потоков; создание модели расчета для определения потерь давления в системе ваку-

Нездойминов Виктор Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, Украина.

Григоренко Надежда Ивановна, аспирант кафедры «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, Украина.

Украина, 86123, Донецкая область, Макеевка, ул. Державина, 2.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология

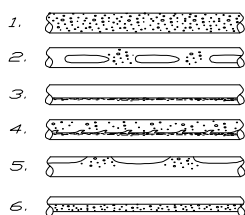
умной канализации; применение на практике полученного алгоритма и сравнение результатов с практическими данными фирмы-проектировщика.

Изложение материалов и результаты. Основной процесс, протекающий в системе вакуумной канализации, это движение по трубопроводу двухфазной системы: сточной жидкости и воздуха. Под действием вакуума атмосферный воздух расширяется и является основной движущей силой процесса. Трубопровод прокладывается с уклоном до 0,002. Воздух в систему подается из атмосферы с помощью клапанов специальной конструкции (режим движения стоков в системе вакуумной канализации рассмотрен авторами в [4, 5]).

Поэтому для описания параметров движения сточных вод в данной системе изучение двухфазных потоков типа «жидкость-газ» является основополагающим. В работах [1, 2, 3] теоретически и экспериментально изучены основные гидродинамические особенности газожидкостных потоков: типы течения, газосодержание, потери давления и т.д. Но все эти исследования и полученные параметры имеют ощутимую погрешность, связанную с большим количеством переменных, характеризующих двухфазное течение. Вот некоторые из этих переменных: массовый расход, плотность и вязкость жидкости и газа, поверхностное натяжение, шероховатость внутренней поверхности труб, наклон трубы к горизонту.

Представление о структуре потока также имеет большое значение для понимания сути двухфазного движения и влияет на выбор метода расчета градиента давления. Различают несколько типов структур потока, а именно: пузырьковая; пробковая; расслоенная; волновая; снарядная; кольцевая.

Для наглядности эти структуры представлены на рисунке 1.



1 – пузырьковая; 2 – пробковая; 3 – расслоенная; 4 – волновая; 5 – снарядная; 6 – кольцевая

Рис. 1. Структуры потоков в горизонтальной трубе

При расчете систем для транспортировки двухфазных смесей очень важно правильно определить плотность смеси, которая в свою очередь зависит от газосодержания ϵ . Для систем вакуумной канализации это значение определено изначально: система эффективно работает при соотношении газ-жидкость $Q_{\text{газ}}/Q_{\text{ж}} = 0,3-0,4$ [5] при использовании клапана определенной конструкции, который представляет собой устройство для одновременного впуска воды и воздуха. Работает клапан автоматически в периодическом режиме по мере накопления жидкости в оборной емкости, открытие и закрытие происходит при определенных значениях вакуума в системе и гидростатического давления перекачиваемой жидкости перед ним. При открытии впускного устройства происходит забор жидкости и воздуха в определенном соотношении и интенсивное их движение по трубопроводу. Водовоздушное соотношение регулируется размерами трубы, по которой поступает воздух.

На определение плотности смеси также влияет распределение фаз по сечению трубопровода, что в свою очередь зависит от структуры движения. Для определения режима движения газожидкостной смеси под действием вакуума была смоделирована лабораторная установка, состоящая из трубопровода диаметром 20 мм и длиной 26 м с устройством перепадного колена. Более подробное устройство установки рассмотрено в [4]. Отличительная черта модели для проведения испытаний для определения структуры движения – прозрачные вставки из стеклянных трубок через определенные расстояния, в которых наблюдался и фиксировался режим движения потока. В результате испытаний было определено, что режим движения в системе изменяется по длине трубопровода, что, вероятно, связа-

но с особенностью устройства системы вакуумной канализации. Рассматриваемый участок трубопровода с размеченными диапазонами изменения структуры потока представлен на рисунке 2.

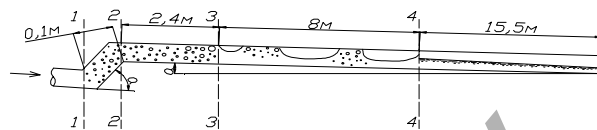


Рис. 2. Изменение структуры потока в трубопроводе лабораторной модели системы вакуумной канализации по длине исследуемого участка

Согласно вышеуказанной классификации, эти структуры можно определить как пузырьковую на участке 1–2 и 2–3, снарядная на участке 3–4 и расслоенная на последнем участке 4–5.

Математическое моделирование выполняется для одного участка сети в период времени от открытия водовоздуховпускного клапана до прохождения газожидкостной смеси расстояния, равного длине участка, в данном случае это 26 м. В этот момент в трубопровод поступает жидкость и воздух в соотношении приблизительно 1:3,5 [5]. Значение скорости движения смеси «жидкость-газ» получено экспериментально, для расчета принимается 2,5 м/с [5]. Также экспериментами было определено, что каждая фаза движения сменяет одна другую последовательно, воздух не вырывается перед жидкостью до момента изменения структуры потока, и движение происходит плавно, сменяясь одно другим. В дальнейшем выводе формулы принято допущение, что скорости движения газожидкостной смеси, газа и жидкости равны и приняты для данной модели 2,5 м/с. Это условие рассматривает самый невыгодный вариант движения сточной жидкости, при котором потери давления будут наибольшими.

Общие потери давления по длине определяются исходя из потерь давления на отдельных участках с различной структурой движения газожидкостной смеси в зависимости от их длины:

$$P = \int_0^{l_{1-2}} \left(\frac{dP}{dx} \right)_{1-2} \cdot x + \int_{l_{1-2}}^{l_{2-3}} \left(\frac{dP}{dx} \right)_{2-3} \cdot x + \int_{l_{2-3}}^{l_{3-4}} \left(\frac{dP}{dx} \right)_{3-4} \cdot x + \int_{l_{3-4}}^{l_{4-5}} \left(\frac{dP}{dx} \right)_{4-5} \cdot x. \quad (1)$$

Рассмотрим каждый участок в отдельности. Определим удельные потери давления на участке 1–2:

$$\left(\frac{dP}{dx} \right)_{1-2} = \rho_u \left(g \cdot \sin \alpha + 2 \frac{f_s}{d} v_s^2 \right), \quad (2)$$

где ρ_u – плотность водовоздушной смеси кг/м³, рассчитывается из соотношения жидкость-воздух ϵ_u . Для пузырьковой структуры потока выведена формула определения газожидкостного содержания [6]:

$$\epsilon_u = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{v_s}{8,66} \right)^{1,6}}, \quad (3)$$

где v_s – средняя скорость движения водовоздушной смеси, м/с;

$\sin \alpha$ – угол наклона трубопровода к горизонту; на участке 1–2 $\alpha = 80^\circ$;

f_s – коэффициент Фаннинга водовоздушной смеси. Для турбулентного потока в пластмассовом трубопроводе использование этого коэффициента наиболее удобно, он зависит от числа Рейнольдса;

μ_s – динамическая вязкость водовоздушной смеси, определяется также из соотношения «жидкость-воздух» ε_u ;

d – диаметр трубопровода, $d = 0,02$ м.

Удельные потери давления на участке 2–3 представляют собой ту же зависимость, но с учетом изменения угла наклона трубопровода к горизонту:

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{2-3} = \rho_u \left(-g \cdot \sin \alpha + \frac{2fs}{d} v_s^2 \right) \quad (4)$$

$\sin \alpha$ – угол наклона трубопровода к горизонту, в данном случае на участке 2–3 $\alpha = 0,11^\circ$.

Удельные потери давления на участке 3–4 представляют собой более сложную зависимость. Это обусловлено тем, что структура движения меняется на снарядную, которую упрощенно можно представить как расслоенную на участках образования пузырьков и пузырьковую в пространстве между ними. Условно структура потока с разделением ее на участки с пузырьковой и расслоенной структурой представлены на рисунке 3.

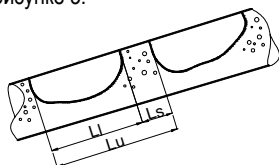


Рис. 3. Фрагмент участка 3–4 со снарядной структурой потока

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{3-4} = -\rho_u \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{2fs}{d} \rho_s \cdot v_s^2 \frac{L_s}{L_u} + \frac{4}{\pi d^2} \frac{L_L}{L_u} \left(\frac{f_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2}{2} \bar{S}_G + \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2}{2} \bar{S}_L \right) \quad (5)$$

ρ_s – плотность водовоздушной смеси, рассчитывается из соотношения жидкость-воздух $\varepsilon_s = 0,3$ (получено опытным путем [5]);

$V_G = V_L$ – средняя скорость движения газа и воды соответственно, принимается равной скорости движения водовоздушной смеси V_s ;

f_G, f_L – коэффициент Фаннинга для газа и жидкости, определяется в зависимости от числа Рейнольдса;

μ – динамическая вязкость газа и жидкости, $\mu_G = 18,72 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\mu_L = 1,02 \cdot 10^{-6}$ Па·с;

$\frac{L_L}{L_u}$ – отношение длины, занимаемой жидкостью, к общей длине

рассматриваемого участка, принимается равным 1 (метод усреднения);

$\frac{L_s}{L_u}$ – отношение длины, занимаемой водовоздушной смесью, к

общей длине рассматриваемого участка, также принимается равным 1 (метод усреднения);

\bar{S}_G, \bar{S}_L – смоченный периметр газа и жидкости соответственно, берется усредненное значение по длине рассматриваемого участка. Расчет производится с учетом критической глубины $h_{кр}$, определенной исходя из уравнения удельной энергии сечения [7]. Согласно этим расчетам критическая глубина $h_{кр} = 0,01$ м, что является половиной диаметра трубы, а следовательно, смоченные периметры газа и жидкости равны.

Участок 4–5 имеет расслоенную структуру потока, для определения удельных потерь давления используется зависимость:

$$\left(\frac{dP}{dx}\right)_{4-5} = -\rho_s \cdot g \cdot \sin \alpha + \frac{4}{\pi d^2} \frac{L_L}{L_u} \left(\frac{f_G \cdot \rho_G \cdot v_G^2}{2} \bar{S}_G + \frac{f_L \cdot \rho_L \cdot v_L^2}{2} \bar{S}_L \right). \quad (6)$$

В реальной системе после участка 4–5 снова устраивается перепадное колено и трубопровод с уклоном не менее 0,002, и так далее до места сбора сточной жидкости. Расстояние между перепадными коленами зависит от нескольких факторов, а именно:

1) рельеф местности – т.к. вакуумная канализация повторяет контур рельефа, периодически необходимо возвращать трубопровод на прежнюю отметку, чтобы иметь возможность прокладывать линию с уклоном;

2) потери давления – если не устраивать перепадных колен, функцией которых также является частичное накопление сточной жидкости до следующего открытия клапана, система не сможет работать на больших расстояниях (на практике ветка системы вакуумной канализации может достигать 4 км). Это связано с тем, что создать отрицательное давление выше 8 м проблематично и необходимо периодически восстанавливать определенную величину вакуума для дальнейшей работы системы. В это время сточная жидкость находится в колене в состоянии покоя;

3) активное перемешивание – именно в перепадном колене происходит активное перемешивание и насыщение сточных вод воздухом, что также немаловажно для дальнейшей очистки стоков. Кроме того, именно на этих участках происходит размельчение крупных загрязнений.

Но и нельзя упускать из внимания тот факт, что слишком частое устройство перепадных колен приведет к увеличению потерь давления, т.к. наибольшую величину потерь система имеет на первом участке (участок 1–2). Потому целью проектировщика вакуумной системы должен быть оптимальный выбор расстояния между перепадами и правильный подбор диаметров трубопровода, что в свою очередь сократит потери давления в сети.

Для проверки правильности математической модели был выполнен расчет ветви вакуумной канализации общей протяженностью 2017 м. Схема сети представлена на рисунке 4.

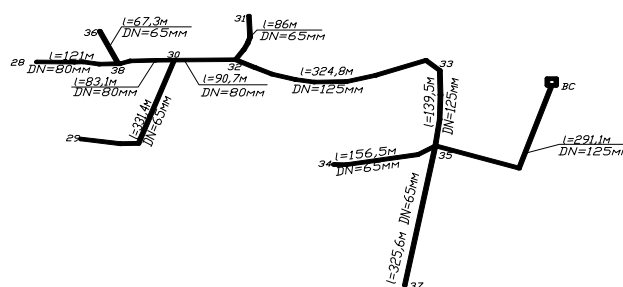


Рис. 4. Схема расчетного участка сети вакуумной канализации

Для данного участка сети предварительно был произведен расчет по таблицам, которые уже используются на практике, но предлагают ориентировочные значения. На схеме указана длина участка и диаметр, подобранный на основании этих расчетов.

При проверке математической модели на практике используется следующий принцип: на участке от колена до колена структура движения водовоздушной смеси такая же, как в лабораторной модели (пузырьковая, пузырьковая, снарядная, расслоенная). Причем длины первых трех участков фиксированы, и равны соответственно 0,1 м, 2,4 м, 8 м, а расслоенная структура занимает всю оставшуюся длину участка до следующего колена. Скорость движения принята 2 м/с, а расстояние между перепадами от 50 до 100 м. Результаты расчета сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчета сети вакуумной канализации на основе полученной математической модели

Номера участков	Длина участков, м	Диаметр тр-да, м	Количество жителей, чел	Расход ст. вод м³/сут	Количество перепадов, шт.	Длина му коленами, м	Длины участков различной структуры, м				Скорость, м/с	Коэффициент Фаннинга			Потери давления, Па
							1-2	2-3	3-4	4-5		f _s	f _G	f _L	
28-38	121	0,08	40	8	2	60,5	0,1	2,4	8,0	50,0	2	0,0013	0,0072	0,0011	4220,84
36-38	67,3	0,065	12	2,4	1	67,3	0,1	2,4	8,0	56,8	2	0,0013	0,0075	0,0011	5646,52
38-30	83,1	0,08	24	4,8	1	83,1	0,1	2,4	8,0	72,6	2	0,0013	0,0072	0,0011	5423,95
29-30	331,4	0,065	32	6,4	3	110,5	0,1	2,4	8,0	100,0	2	0,0013	0,0075	0,0011	8594,72
30-32	90,7	0,08	20	4	1	90,7	0,1	2,4	8,0	80,2	2	0,0013	0,0072	0,0011	5828,53
31-32	86	0,125	19	3,8	1	86,0	0,1	2,4	8,0	75,5	2	0,0013	0,0066	0,0010	3598,53
32-33	324,8	0,125	92	18,4	3	108,3	0,1	2,4	8,0	97,8	2	0,0013	0,0066	0,0010	4292,38
33-35	139,5	0,125	20	4	2	69,8	0,1	2,4	8,0	59,3	2	0,0013	0,0066	0,0010	3092,16
34-35	156,5	0,065	32	6,4	2	78,3	0,1	2,4	8,0	67,8	2	0,0013	0,0075	0,0011	6394,39
37-35	325,6	0,065	20	4	3	108,5	0,1	2,4	8,0	98,0	2	0,0013	0,0075	0,0011	8462,68
35-BC	291,1	0,125	4	0,8	3	97,0	0,1	2,4	8,0	86,5	2	0,0013	0,0066	0,0010	3942,33
Всего	2017														59497,03

Как видно из таблицы 1, суммарные потери напора для трубопроводов с диаметрами, подобранными по зарубежной методике расчета составили 59497,03 Па, или около 6 м.вод.ст., что в принципе соответствует реальности – именно такое отрицательное давление рекомендуется создавать в системе вакуумной канализации. Но если руководствоваться принципом снижения потерь давления, то, имея расчетную формулу, возможен подбор других диаметров, скоростей, расстояний между коленами, который повлечет за собой снижение величины необходимого вакуума в сети.

Заключение. Таким образом, установлено, что полученную модель расчета возможно применить на практике. Расчетная формула довольно гибкая и позволяет задаваться различными параметрами системы, снижая при этом потери давления или диаметр трубопровода. В дальнейших исследованиях планируется рассчитать экономический эффект снижения потерь давления при увеличении диаметра, и наоборот, выбор оптимальной методики расчета систем вакуумной канализации.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Christopher, E. Brennen, Fundamentals of Multiphase Flows. – Pasadena, California: California Institute of Technology, 2008. – 410 p.
2. Чисхолм, Д. Двухфазные течения в трубопроводах и теплообменниках; пер. с англ. – Великобритания, 1983. – М.: Недра, 1986. – 204 с.

3. Мамаев, В.А. Гидродинамика газожидкостных смесей в трубах / В.А. Мамаев, Г.Э. Одишария, Н.И. Семенов, А.А. Точигин. – М.: Недра, 1969. – 208 с.
4. Нездойминов, В.И. Применение вакуумной канализации для малых населенных пунктов в Украине / В.И. Нездойминов, Н.И. Григоренко, Д.В. Заворотный // Науковий вісник будівництва. – № 2010-60. – 2010.
5. Григоренко, Н.И. Исследование параметров основных элементов гидропневматической вакуумной системы канализации в лабораторных условиях // Вестник ДонНУСА. – № 2011-3(89). – 2011. – С. 110–112.
6. Jing-yu, Xu Studies on two-phase co-current air/non-Newtonian shear-thinning fluid flows in inclined smooth pipes, International journal of Multiphase flow / Xu Jing-yu, Wu Ying-xiang, Shi Zai-hong [and other]. – № 33(2007). – P. 948–969.
7. Справочник по гидравлическим расчетам / Под редакцией П.Г. Киселева – Изд. 4-е, переработ. и доп. – М.: Энергия, 1972.
8. Small wastewater treatment plants III Text. / Y. Watanabe // Water Science and Technology. 1997. – Vol. 35, N 6. – P. 1–154.
9. Kleine Kläranlagen Text / D. Schreff, P. Wilderer // Korrespond. Abwasser. – 1999. – Vol. 46, N 10. – S. 1522–1525.
10. Dezentrale Abwasserreinigung im landlichen Raum Text. / U. Kapteina // Neue Landschaft. 1999. – N 6. – S. 388–390.

Материал поступил в редакцию 07.02.13

NEZDOYMINOV V.I., GRIGORENKO N.I. The practical application of vacuum sewer calculation model

We consider a problem of the movement of two-phase flow liquid/gas in the vacuum sewer system. We determined the structure of the movement in the pipeline section. The calculation model of pressure losses along the length of one section was proposed. The possibility of using this model in practice was verified.

УДК 628.316

Урецкий Е.А., Мороз В.В.

ИЗУЧЕНИЕ РЕАЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ПРОМЫШЛЕННОМ АППАРАТЕ $V=3,2\text{ м}^3$ С МЕХАНИЧЕСКОЙ МЕШАЛКОЙ, ИСПОЛЗУЕМОМ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СМЕСИ СТОКОВ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО И ОКРАСОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. Как известно, при подборе химической аппаратуры необходимо предусматривать три наиболее важных аспекта:

- кинетику химических реакций;
- смешивание химических реагентов с обрабатываемыми сточными водами на молекулярном уровне (микроремешивание);
- гидродинамику аппаратов.

Проведенные ранее одним из авторов статьи Урецким Е.А. исследования кинетики основных реакций, используемых для реагентной очистки сточных вод [1], показали, что и гидролиз солей тяжелых металлов в сильно разбавленных растворах, и нейтрализации сточных вод являются реакциями второго порядка и характеризуются высокими значениями констант скоростей.